

SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN EN INGENIERÍA CIVIL. POSIBILIDADES Y PERSPECTIVAS

EUGENIO OÑATE
JAVIER MARCIPAR
JAVIER PIAZZESE

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE)
Universidad Politécnica de Cataluña
Gran Capitán s/n, Campus Norte UPC, 08034 Barcelona
onate@cimne.upc.es; www.cimne.upc.es

RESUMEN

La eclosión de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC), y en particular de Internet, ha facilitado el desarrollo de sistemas que, apoyados por bases de datos y potentes programas de simulación, transforman la *información* que existe en relación con un problema concreto, en *conocimiento* que permite tomar decisiones para su solución. Los denominados Sistemas de Ayuda a la Decisión (SAD) son ya una realidad en múltiples áreas de la ingeniería. En este trabajo se analizan las posibilidades y perspectivas de los SAD en ingeniería civil y se presentan tres ejemplos concretos de su aplicación a la prevención del riesgo de inundaciones y a la gestión de las emergencias correspondientes, al diseño de instalaciones en proyectos urbanísticos y a la gestión energética en municipios.

1. PASADO Y PRESENTE DE LAS TIC EN INGENIERÍA CIVIL

Antes de la “era Internet”, la información en el mundo de la construcción se transmitía por teléfono, el fax, el modem y el télex. La informática se aplicaba de forma regular a tareas administrativas, y al cálculo y diseño de infraestructuras a través de centros de cálculo, de estaciones de trabajo potentes y más recientemente de ordenadores personales.

Internet, ciertamente, ha revolucionado los hábitos en cuanto a la forma de comunicarse y trabajar en el sector de la construcción. En dicho sector participan empresas, organismos donde trabajan individuos de muy variadas especialidades y con distintos ámbitos de actuación. Todos pueden aprovecharse de las ventajas de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) y en particular de Internet, a diferentes niveles [1,2,3,4].

Las TIC hacen posible el almacenaje, la clasificación y la distribución de información de forma sencilla y universal. Por otra parte, las nuevas técnicas para la introducción de datos de forma colaborativa y simplificada, o incluso de forma indirecta (tomando datos de sistemas vecinos) hacen que exista una mayor cantidad de información actualizada en la red. La inteligencia puesta en los sistemas de captación y gestión de datos permite dar valor a esos datos y optimizar su uso a distintos niveles (estratégico, de gestión, comercial, técnico, etc.).

Por otra parte, las facilidades en la distribución de datos convierten a Internet en una herramienta indispensable para acceder a información especializada y, en general, al conocimiento “en red”.

Las empresas que hacen buen uso de estas posibilidades cuentan con información de valor en todo momento, lo que les permite:

- Optimizar procesos de compra, gestión, control, etc...
- Formar personal de la empresa a menor coste, con mayor eficiencia y con cursos diseñados a medida.
- Formalizar diversos procesos como los controles de calidad, de gestión, etc.
- Integrar distintas áreas de la empresa en un mismo sistema con mayor facilidad .
- Aumentar los controles de procesos y materiales.
- Almacenar, clasificar y compartir la documentación de la empresa.
- Gestionar el conocimiento de la empresa de forma colaborativa.

En particular, las empresas del sector de la construcción gestionan mucha información y personal, los procesos son sumamente complejos y la optimización de cualquiera de ellos puede generar grandes ventajas competitivas sobre el entorno inmediato de la empresa.

En este sentido, las TIC ofrecen una herramienta inmejorable y su uso es cada vez más necesario para mantener la competitividad y la eficiencia con que las empresas deben desarrollarse con una perspectiva global.

Las posibilidades actuales de Internet en el sector de la construcción se centran básicamente en las cuatro líneas siguientes [5]:

- Intercambio de información de forma colaborativa en todos los aspectos del desarrollo del proyecto.
- Oferta de un servicio de formación continua interactiva y personalizada.
- Creación de un mercado de productos y servicios relacionado con las necesidades de una obra completa, de una empresa (B2B) y de todos los empleados (B2E).
- Gestión y mantenimiento de infraestructuras.

En los párrafos siguientes se resumen las posibilidades actuales de Internet en las cuatro líneas anteriores.

1.1 Internet al servicio del proyectista

Internet abre un mundo de oportunidades para el proyectista del sector de la construcción. Es posible ya crear una Oficina Técnica Virtual en la cual técnicos que trabajen en distintos lugares de la misma empresa o de empresas distintas, puedan interactuar intercambiando datos relativos al mismo proyecto vía Internet.

Paralelamente, aparece el concepto de “consultoría en red”. Es decir, la posibilidad de ofrecer servicios de consultoría técnica sobre aspectos del diseño, el cálculo, la construcción y el mantenimiento de obras utilizando Internet. Especialmente atractiva es la posibilidad del servicio de "cálculo en red". Este servicio lo ofrecen empresas de cálculo a través de Internet, de manera que los usuarios pueden acceder a servicios de cálculo en condiciones de "pago por uso" a través de Internet. Un servicio de este tipo lo ofrece, por ejemplo, la empresa Structuralia (www.structuralia.com).

1.2 Internet al servicio de la formación continua

Las posibilidades de Internet para la formación continua son enormes. El concepto de “formación en red” es cada vez más una realidad impulsada por universidades y empresas especializadas en formación continua en ámbitos técnicos.

La formación continua en red permite impartir cursos de distintos tipos (desde conferencias hasta cursos de varias horas o meses, como cursos de master) en la modalidad de distancia total, o combinando sesiones a distancia y sesiones presenciales. Cada día se avanza más hacia el desarrollo del concepto de autoaprendizaje continuo con la ayuda de herramientas y tutorías en-red de forma síncrona (en tiempo real) o asíncrona (con herramientas y vídeos pregrabados, etc.). Es de prever que todas las empresas pondrán una atención especial en la formación de sus empleados con la ayuda de las nuevas herramientas

y entornos que ofrece Internet. El gran reto a corto plazo es el *desarrollo de contenidos* de alto nivel en todos los ámbitos del sector de la construcción, desde el nivel técnico más directamente ligado con la ingeniería civil o la arquitectura (estructuras, geotecnia, hidráulica, puertos, medio ambiente, etc.), hasta contenidos más relacionados con la gestión relativos a temas administrativos, normativas y aspectos legales entre otros (Figura 1).



Figura 1. Ejemplo de curso sobre cálculo de estructuras por el método de elementos finitos a distancia (www.structuralia.com)

El secreto del éxito en el desarrollo de estos contenidos será la interrelación y el trabajo conjunto entre los expertos poseedores de los contenidos y los especialistas en el desarrollo de entornos multimedia, basados en los últimos avances en herramientas como XML y Flash Multimedia entre otros. En esta línea trabaja activamente el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (www.cimne.com) en colaboración con profesores e investigadores de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona y con empresas como Structuralia, para el desarrollo de un nuevo entorno de formación vía Internet y de diversos cursos de formación en red en temas diversos de la ingeniería civil y de la arquitectura.

1.3 Internet al servicio del comercio electrónico en el sector de la construcción

Internet es una excelente plataforma para el comercio en muchos ámbitos de la industria. Son conocidos los éxitos de Internet en la venta en red de productos diversos como libros, ropa, billetes de avión, obras de arte, etc. (Figura 2).

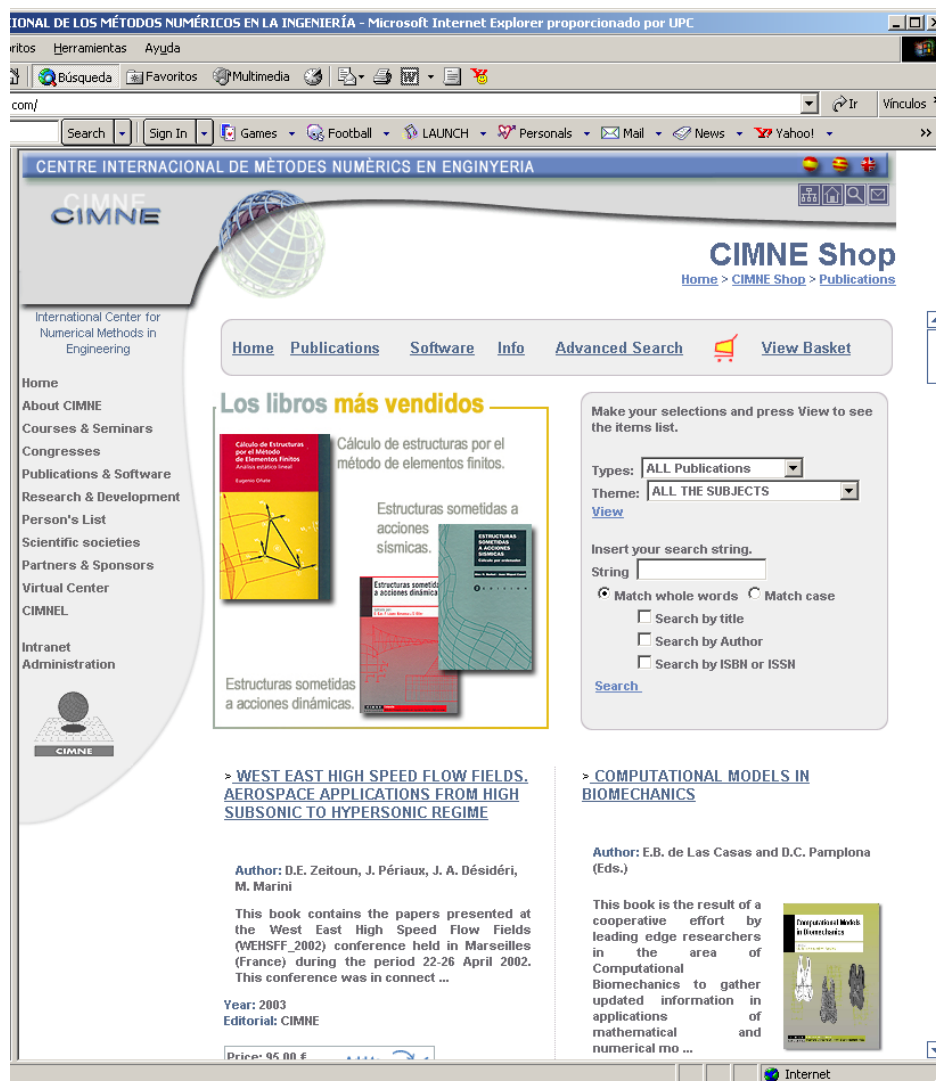


Figura 2. Tienda virtual de CIMNE (www.cimne.com)

Las posibilidades de Internet en la venta de productos de interés para la construcción tienen, en principio, un potencial similar. El impacto puede ser todavía mayor por la escala de las operaciones de compra y venta que cada día se producen en el sector de la construcción. Ya se han implantado, con un creciente éxito, plataformas de venta de productos "clásicos" como libros técnicos y software de interés para ingenieros y arquitectos (www.cimne.com; www.structuralia.com, etc.). El gran reto es crear un verdadero mercado de productos "de peso" relativo a la construcción, como por ejemplo, cemento, hormigón, material de canteras, ladrillos, vigas. Entre las iniciativas más consolidadas destacan las de www.obralia.com, www.uralita.com, www.bravobuild.com y www.minobraplus.com. A pesar de que los inicios de algunos de estos portales han sido accidentados, es previsible que a término medio se consolidará su papel para hacer realidad la creación de un mercado en red activo de productos en el sector de la construcción.

1.4 Internet al servicio de la gestión y del mantenimiento de una obra

Las posibilidades de Internet para el seguimiento y gestión en red de la construcción de una obra son muy grandes. Ya es factible el seguimiento en directo la construcción de una obra mediante cámaras de vídeo que transmiten la información a una web especialmente diseñada al respecto. Estos datos se pueden utilizar para actualizar el proyecto y su planificación.

También se utiliza Internet para gestionar la vigilancia y mantenimiento de obras. Con la ayuda de instrumentos de control se puede disponer de información en red sobre el estado de las deformaciones, esfuerzos, temperatura, humedad, etc. de una obra y tomar las decisiones correspondientes.

Los nuevos desarrollos van en la dirección de utilizar Internet como una plataforma de captación de información en red sobre el estado de una obra y también como el vehículo para el control activo y pasivo de instalaciones a través de la red.

2. SISTEMAS DE AYUDA A LA DECISIÓN BASADOS EN LAS TIC

El reto a abordar en los próximos años será transformar la ingente cantidad de *información* que proporciona Internet a través de ordenadores, teléfonos móviles de tercera (y pronto cuarta) generación, etc. en *conocimiento* a partir del cual poder tomar decisiones para resolver un problema concreto. Para ello, será indispensable apoyarse en herramientas que procesen la información, de manera que podamos predecir escenarios que simulen el comportamiento previsible de la realidad, de acuerdo con hipótesis preestablecidas, como una etapa esencial para poder tomar las decisiones más adecuadas en cada caso. Estas herramientas, denominadas comúnmente métodos de simulación, combinarán las TIC con modelos matemáticos, métodos numéricos e informáticos y, sin duda, con un conocimiento profundo, a través de bases de datos, de todos los aspectos científicos-técnicos y socio-económicos del problema a resolver.

Los denominados Sistemas de Apoyo a la Decisión (SAD) basados en las TIC pueden esquematizarse por medio de *un triángulo* en cuyo vértice superior se concentraría la captación de datos sobre el problema a resolver, el vértice inferior izquierdo acogería la simulación de diferentes escenarios posibles, utilizando los datos disponibles, y en el vértice derecho se concentrarían todas las facetas relativas a la toma de decisiones sobre la mejor solución a adoptar. Los tres vértices que representan los *datos*, la *simulación del futuro* y la *decisión* a tomar, *estarían enlazados por los lados del triángulo que simbolizan a Internet*. El SAD configura así un bucle que conecta a través de Internet la información con la decisión, en base a la predicción. Fuera del triángulo se situará el hombre, responsable de la gestión de las tres fases del proceso y, en definitiva, de la decisión final (Figura 3).

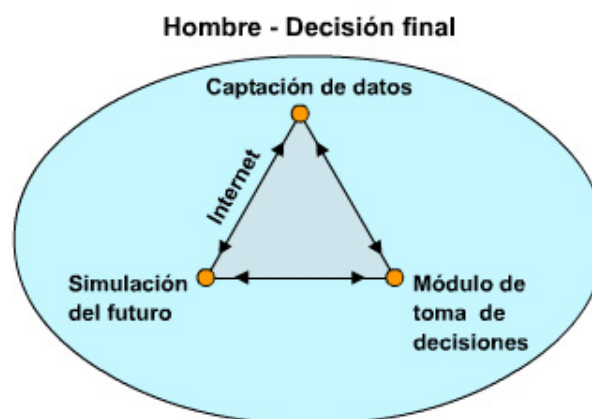


Figura 3. El triángulo Datos-Simulación-Decisión enlazado por internet

Pueden encontrarse hoy en día numerosos ejemplos de ese sencillo esquema triangular. La predicción del tiempo es uno de ellos. En el vértice superior del triángulo se captan los datos sobre la situación meteorológica en un instante dado, en el vértice inferior izquierdo se predice, a partir de los datos recibidos por internet y con ayuda de potentes programas de cálculo y medios informáticos, el estado del tiempo en diversos instantes del futuro. Estas simulaciones se traducen en el vértice inferior derecho del triángulo en pronósticos y recomendaciones prácticas sobre el tiempo esperable.

3. EJEMPLOS DE SISTEMAS DE APOYO A LA DECISIÓN EN INGENIERÍA CIVIL

Las posibilidades de los SAD en ingeniería civil son enormes y su utilización, a distintos niveles, es creciente en múltiples áreas. Presentaremos a continuación tres ejemplos concretos de desarrollo y aplicaciones de SAD que se realizan en España.

3.1 SAD para prevención de riesgos y gestión de emergencias en inundaciones

El objetivo de este SAD es predecir el nivel de riesgo de una inundación y establecer las acciones de emergencia correspondientes. El SAD se desarrolla en el marco del proyecto RAMFLOOD del Information Society Programme (IST) de la CE (www.cimne.upc.es/ramflood). Dicho proyecto lo coordina el Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería (CIMNE) y en él participan el Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Escuela de Ingenieros de Caminos de Barcelona, la empresa de información geográfica y medio-ambiental vía satélite alemana Euromap, la Universidad de Atenas, la Agencia Catalana del Agua y una Asociación de Municipios próximos a Atenas en cuyos terrenos se celebrarán parte de las actividades de los Juegos Olímpicos de 2004. El proyecto RAMFLOOD se inició en Enero de 2003 y a su duración es de tres años.

El SAD RAMFLOOD integra información del tiempo captada a través de servicios meteorológicos en un avanzado sistema de información geográfica (GIS) [6] que contiene los datos relevantes del territorio en cuestión. La base de datos del GIS se actualiza mediante información satelital. Utilizando programas de simulación de avenidas se reproducen múltiples escenarios de inundaciones sobre el territorio escogido. Los resultados de dichas simulaciones se recogen en una base de datos que se utiliza para educar un sistema experto basado en redes neuronales y algoritmos de Montecarlo [7], con el fin de establecer el nivel de riesgo para cada escenario de inundación y proponer las actuaciones correspondientes. La utilización del sistema RAMFLOOD en tiempo real se basa en la aplicación directa del sistema experto. A partir de los datos meteorológicos sobre el territorio en cuestión, dicho sistema proporciona el riesgo de inundación y las actuaciones de emergencia a tomar para cada situación concreta.

El éxito del SAD RAMFLOOD se basa en la integración eficiente de todas las etapas que intervienen en el flujo de información. La actualización de los datos geográficos y medio-ambientales del territorio requiere una adecuada segmentación de la información utilizando técnicas orientadas a objeto avanzadas. La interfase de los datos del GIS con los programas de simulación se efectúa utilizando un preprocesador de última generación desarrollado en CIMNE [8]. Dicho preprocesador proporciona la malla de cálculo y todos los datos necesarios para la aplicación de programas de elementos finitos y volúmenes finitos que simulan con precisión la evolución temporal de una avenida sobre el territorio, obteniéndose la profundidad del agua y su velocidad en cada punto y en cada instante. Los resultados de la simulación se representan sobre el territorio utilizando técnicas gráficas avanzadas [8]. La educación del sistema experto requiere la solución de cientos de escenarios de inundación. Ello representa un volumen de cálculo considerable y por ello es esencial hacer uso de técnicas de cálculo paralelo. La aplicación efectiva del SAD RAMFLOOD requiere una interfase de usuario sencilla y clara, de manera que su utilización por técnicos no expertos en sus entrañas, sea fácil.

En las Figuras 4, 5 y 6 se presentan diferentes ejemplos de la interfase de usuario del SAD RAMFLOOD, así como algunos resultados de su aplicación.

3.2 SAD para el diseño de instalaciones en proyectos de urbanización

CIMNE está desarrollando para el Instituto Catalán del Suelo (INCASOL) un SAD que ayude a diseñar, presupuestar y optimizar las infraestructuras e instalaciones básicas (agua, gas, alumbrado, teléfono, saneamiento, movimiento de tierra y pavimentación) de un proyecto de urbanización. El SAD combina un innovador sistema de información geográfica (GIS) que permite ser gestionado vía internet [6] con técnicas de diseño y evaluación del coste de instalaciones e infraestructuras y algoritmos de optimización.

El funcionamiento del SAD es el siguiente. El punto de partida son los datos básicos del anteproyecto de un polígono. Dichos datos se almacenan en el GIS donde se definen los usos concretos de cada una de las parcelas del polígono y los diferentes viales. Tras ello el SAD presenta una propuesta de diseño óptimo para cada una de las instalaciones e infraestructuras mencionadas, incluyendo sus detalles técnicos y el

presupuesto correspondiente. La información que proporciona el SAD es la base para la realización del proyecto de urbanización definitivo, así como para el proyecto posterior de cada una de las parcelas.

Una de las novedades de este SAD es que puede utilizarse vía internet, convirtiéndose así en una herramienta útil para el desarrollo de un proyecto de urbanización de forma colaborativa, con puestos de trabajo dispersos conectados entre sí vía internet.

En la Figura 7 se presenta un ejemplo de aplicación del SAD INCASOL mencionada. Se puede observar el sistema GIS donde se encuentran integradas las diferentes aplicaciones de simulación. El sistema cuenta con una poderosa guía interactiva que permite a los usuarios menos familiarizados con el sistema, hacer uso de toda su capacidad. (Más información en www.cimne.upc.es/Sadincasol).



Figura 4. Sistema de Apoyo a la Decisión RAMFLOOD

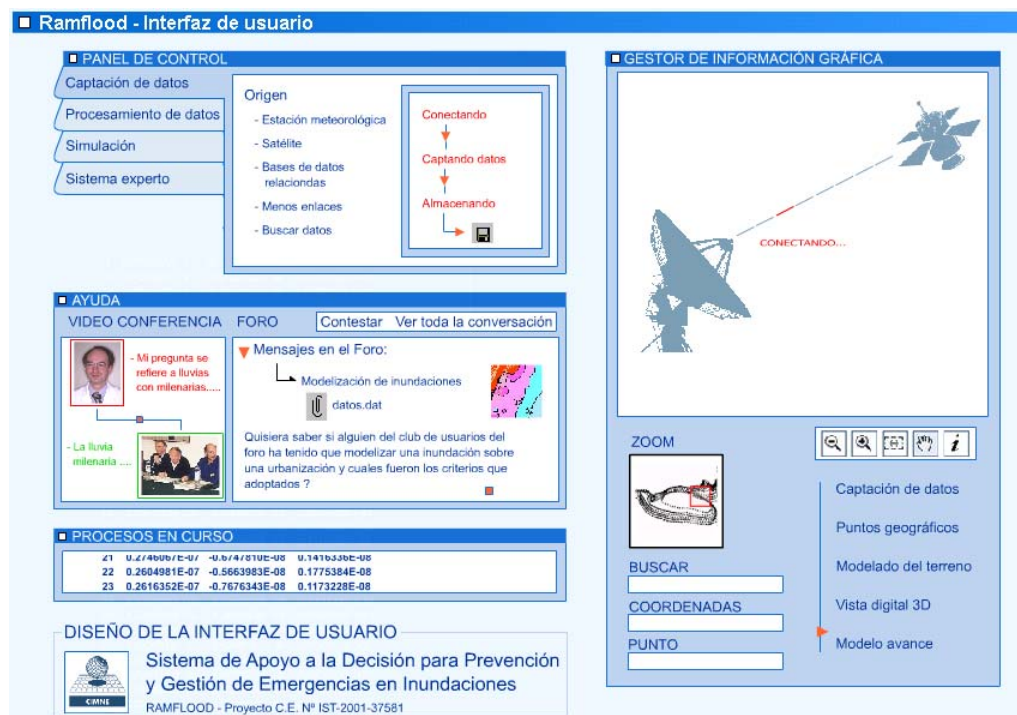


Figura 5. Herramientas del SAD RAMFLOOD

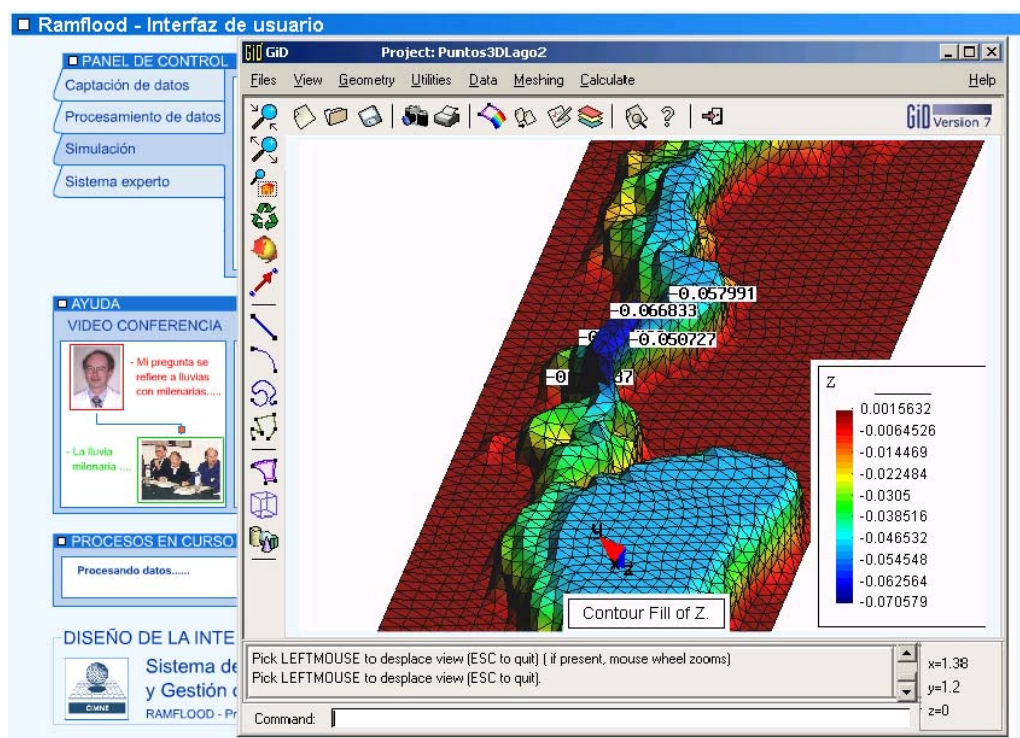


Figura 6. Resultados de una simulación de una avenida con el SAD RAMFLOOD

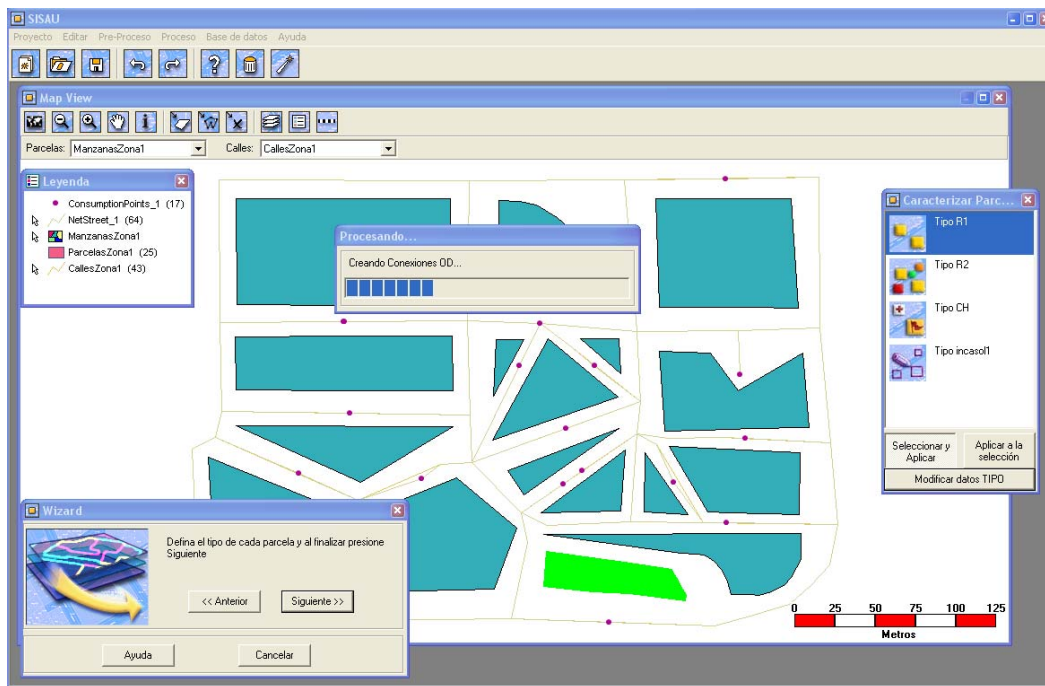


Figura 7. Aplicación del SAD INCASOL al diseño de la red eléctrica de un polígono.

3.3 SAD para la gestión energética de municipios

Este SAD ha sido desarrollado también por CIMNE en colaboración con la empresa GASÓ y Asociados en el marco de un proyecto europeo. El objetivo del SAD es proporcionar información actualizada sobre los niveles de consumo energético de un municipio con el fin de racionalizar el uso de los recursos.

El sistema está basado en un sistema GIS que funciona totalmente por Internet, donde se presenta un mapa del municipio dentro del cual se encuentran ubicados los puntos de consumo sobre los que se ha de intervenir. Estos puntos de consumo son por ejemplo: la red de alumbrado público, los semáforos, escuelas, bibliotecas, dependencias del ayuntamiento, etc. Los responsables de cada punto de consumo, pueden introducir vía Internet los valores de las facturas de los servicios y otros datos necesarios para establecer el consumo energético.

Estos valores, junto con otros como el área de influencia de cada servicio, el número de usuarios, el tiempo de uso y las necesidades de crecimiento, permiten que el SAD disponga de los datos necesarios para el análisis y la toma de decisiones sobre la gestión energética de un municipio.

La información que proporciona el SAD es fruto de una serie de algoritmos de simulación de la evolución del consumo energético del municipio y se presenta al usuario de forma gráfica, de tablas comparativas y de diferentes mapas temáticos.

Este SAD se utiliza por los responsables de planeamiento para racionalizar el uso de los recursos energéticos del ayuntamiento y detectar puntos o zonas de consumo excesivo. Asimismo es de gran utilidad como herramienta para la planificación estratégica de la evolución de los servicios dentro del ayuntamiento.

En la Figura 8 se puede observar un ejemplo del uso del sistema SIE Municipal, donde se aprecia el plano del municipio de Fornells de La Selva en Catalunya y los diferentes puntos de consumo sobre los que dicho ayuntamiento está trabajando con el sistema. Más información en www.cimne.upc.es/sie.

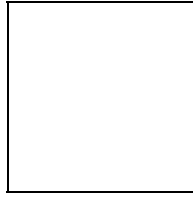


Figura 8. Aplicación del SAD SIE Municipal para análisis y gestión de los recursos energéticos de un municipio

4. FUTURO DE LOS SAD EN INGENIERÍA CIVIL

Los ejemplos anteriores son una pequeña muestra de las enormes posibilidades de los SAD en Ingeniería Civil. Es intuible que a corto plazo se extenderán las aplicaciones de los SAD a todos los ámbitos de la profesión. Así, existen proyectos de SAD para la gestión integral de edificios y de otras infraestructuras, para la gestión de los diversos servicios municipales y para la mejor gestión de los recursos naturales, entre otros.

Es muy prometedora la aplicación de los sistemas de ayuda a la decisión en el ámbito de la administración pública, para la gestión de ciudades y territorios. Un ejemplo remarcable es el esfuerzo que están invirtiendo en USA organizaciones como The Orton Family Foundation para configurar SAD con el objetivo de favorecer el desarrollo de la América rural (www.communityviz.com). Dichos sistemas apuntan a recomendar a los agricultores el ritmo óptimo para gestionar sus cosechas, y a los ayuntamientos la mejor forma de promover el crecimiento sostenible de sus municipios, entre otras cuestiones.

5. CONSIDERACIONES FINALES

Los SAD están destinados a formar una parte consustancial de muchas de las actividades que se realizan en Ingeniería Civil. El *triángulo* formado por los *datos* (la información), la *simulación* (el cálculo) y el módulo de *toma de decisiones* será una herramienta indispensable para los ingenieros gracias a Internet.

Con independencia del problema que se resuelva, es importante recordar que el fin último de los SAD es *proporcionar información*, otra vez aparece la palabra clave, para facilitar el camino en la solución de un problema. Por ello, cualquier técnica de ayuda a la toma de decisiones debe estar íntimamente ligada tanto a la fuente del problema, como al uso que se pretenda hacer de la información disponible. La aplicación de los SAD, y en definitiva de las TIC, no es por tanto una etapa a considerar aisladamente de la realidad.

La tentación inmediata ante las enormes posibilidades de las TIC al servicio del hombre, es pensar que no existen límites a dichas posibilidades. ¿Es factible pensar que gestionando adecuadamente los vértices del triángulo mágico: datos, predicción y decisión, enlazados por las más avanzadas tecnologías de la comunicación podremos llegar a diseñar un futuro sin riesgos? ¿Podrá, en fin, algún día el hombre controlar el futuro? Esta es una cuestión de apasionante actualidad, tratada en numerosos libros y películas de ciencia-ficción. La respuesta formal a dicha cuestión la estableció de un modo magistral en 1931 el matemático vienés Kurt Gödel.

En una época en que Wiener, von Neumann y Shannon pusieron los fundamentos de la teoría de la comunicación sobre la que se apoyó el desarrollo de las TIC, Gödel demostró que todo sistema lógico basado en axiomas, contiene proposiciones *indecidibles*. Es decir, es *imposible que un sistema cerrado contenga la respuesta a todas las preguntas*. Hay cuestiones, por tanto, que solo pueden ser contestadas desde fuera del sistema [10].

Las conclusiones del teorema de Gödel, aplicadas al SAD formado por los tres vértices del triángulo donde se encuentran los datos, las herramientas de predicción y los módulos de decisión, enlazados por la

red más avanzada de comunicaciones, nos recuerdan que, pese a lo sofisticado que pueda llegar a ser dicho sistema, siempre existirán cuestiones sobre las que no podremos tomar decisiones, a menos que aportemos criterios externos al sistema. Estos criterios deberán ser invariablemente de tipo extra-científico y extra-tecnológico y solo podrán ser aportados por el hombre, quien por su carácter de ser libre, estará siempre capacitado para, desde fuera del sistema, enriquecer cada una de las etapas del bucle con los criterios más adecuados combinando los aspectos científicos y tecnológicos con todas las otras facetas humanísticas, históricas, ambientales, económicas y sociales, que componen la vida del hombre.

Hemos intentado, con esta breve comunicación esbozar el nuevo escenario y perspectivas que abren los sistemas de ayuda a la decisión en ingeniería civil, al favorecer que la información se transforme en conocimiento, y éste en ayuda para decidir sobre el mejor camino a seguir en la solución de un problema. La utilización juiciosa de los SAD se manifestará en innumerables servicios para la ingeniería civil y, en general, para nuestras vidas cotidianas, tratando de franquear los límites de las barreras del espacio y del tiempo. Pese a la creciente sofisticación del entramado de redes, datos y predicciones, es importante recordar que los ingenieros, en definitiva, serán siempre los últimos responsables de las decisiones y, en particular, de que los proyectos que aborden satisfagan los criterios técnico-económicos y éticos necesarios.

REFERENCIAS

- [1] M. Castells (2001). La Galaxia Internet. Plaza y Janés.
- [2] A. Briggs y P. Burke (2002). De Gutenberg a Internet: Una historia social de los medios de comunicación. Taurus.
- [3] A. Cardama. (2003). Las comunicaciones en la sociedad de la información. CIMNE, Barcelona.
- [4] E. Oñate (2000). Del ábaco de fichas a Internet. Publicación CIMNE n. 199, Octubre.
- [5] E. Oñate (2002). Posibilidades de las Tecnologías de la Información y Comunicación en el sector de la construcción. I Jornadas Nacionales sobre Innovación y Nuevas Tecnologías en la Ingeniería Civil. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 4 y 5 Diciembre.
- [6] EGIS (2003). Sistemas de información geográfica vía internet. CIMNE, Barcelona.
- [7] E. Balsa y R. Lopez (2003). Redes Neuronales. Una introducción. CIMNE, Barcelona.
- [8] GiD (2003). El pre y postprocesador personal. CIMNE, Barcelona. www.gidhome.com.
- [9] E. Oñate (2000). Límites de los métodos numéricos. Publicación CIMNE n. 191, Barcelona.
- [10] E. Oñate (2000). El aura de los números. Reial Academia de Doctors, Barcelona.